

Das Virtuelle Flugzeug – Strukturauslegung in multidisziplinären Optimierungsketten

Dieter Kohlgrüber

Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie, Stuttgart

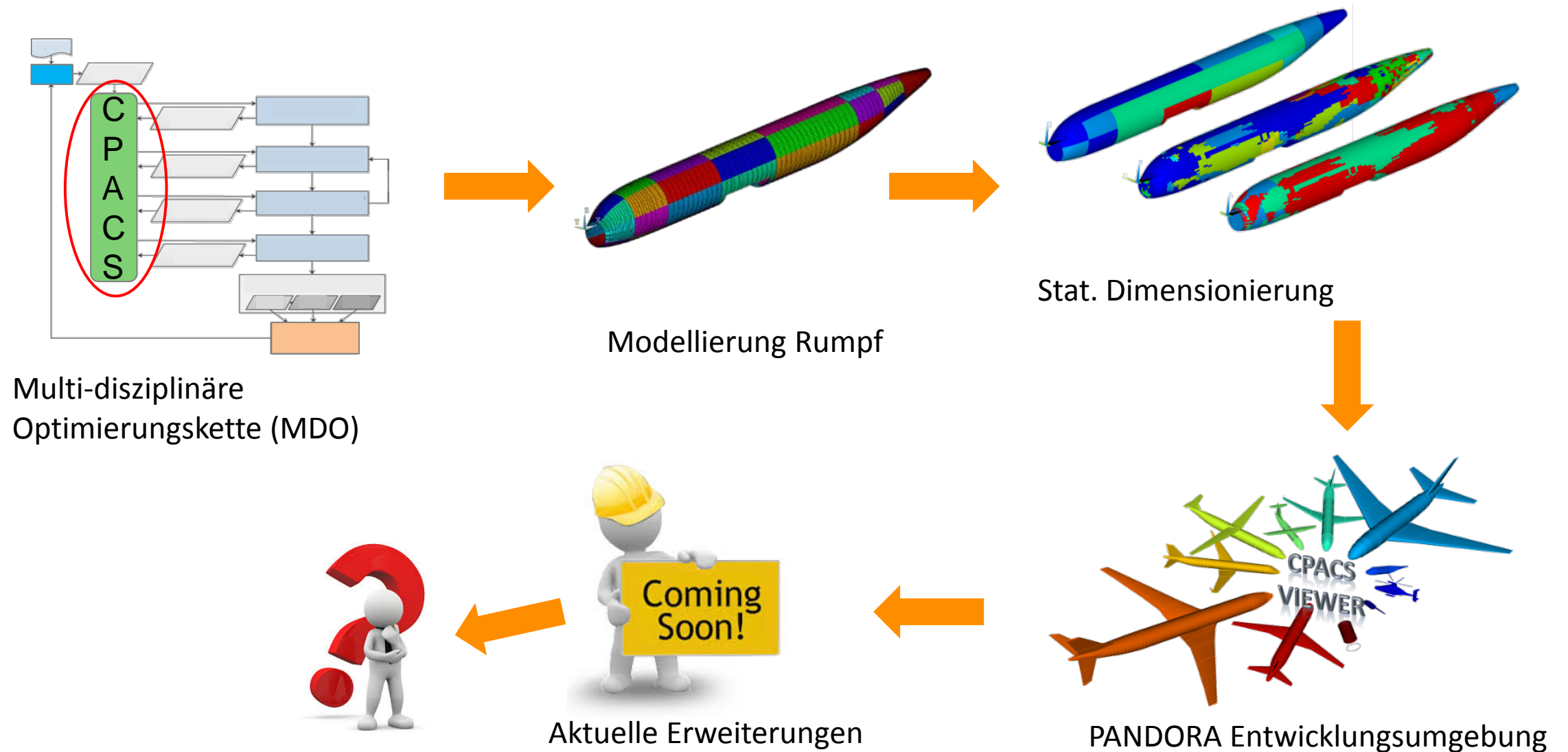
Bauweisen-Kolloquium 2018, 12.06.2018, Stuttgart



Wissen für Morgen

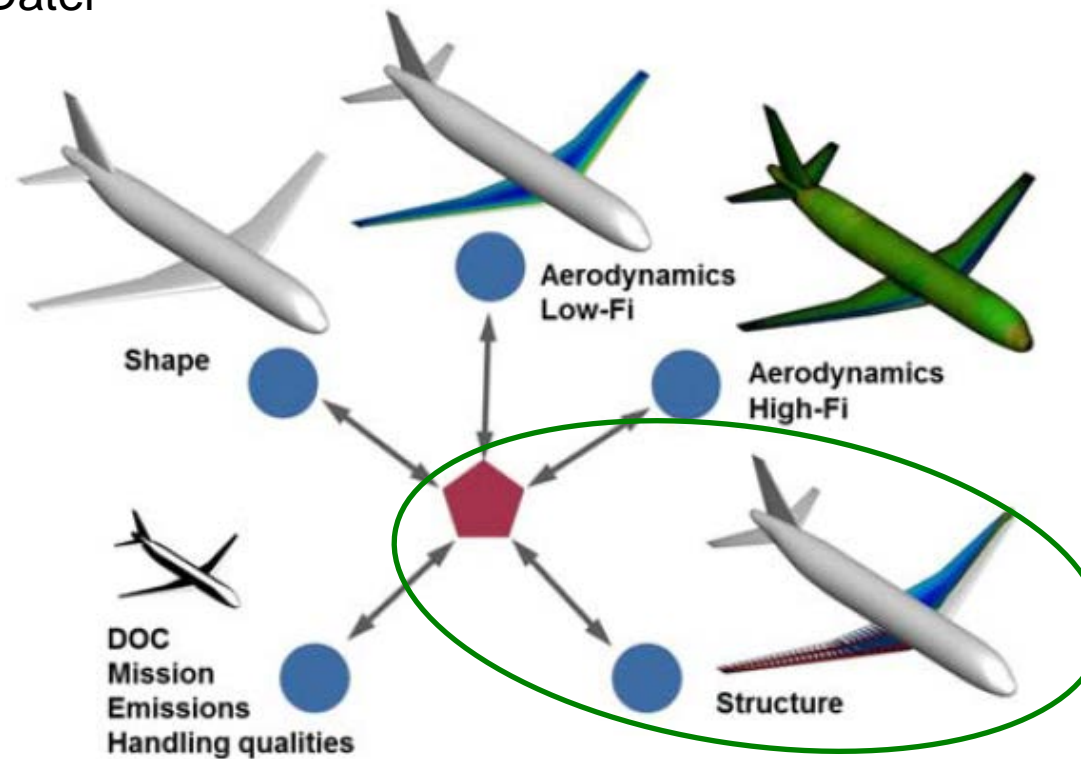
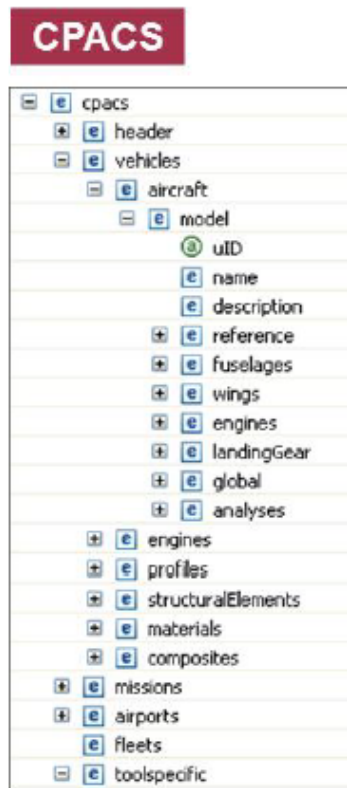


Überblick



CPACS Datensatzformat (<http://www.cpacs.de>)

- Standardisiertes Format für die Beschreibung von Fluggeräten/Luftverkehr
- Hierarchisch organisierte xml-Datei



Disziplinen:

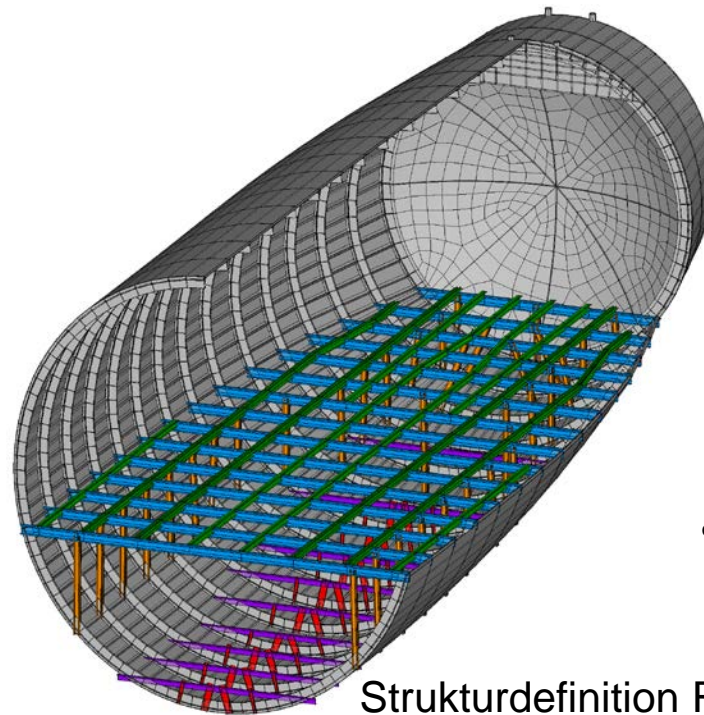
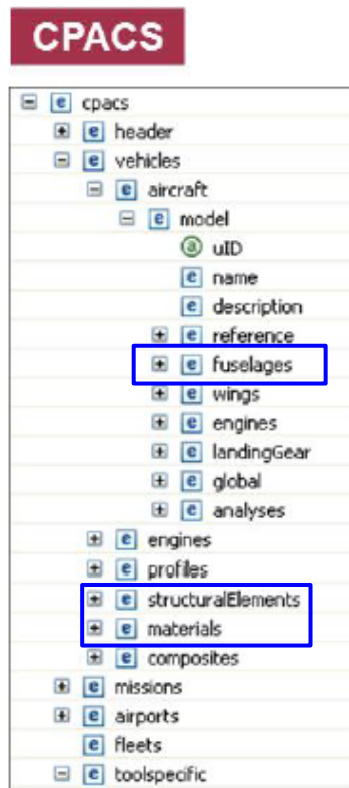
- Aerodynamik
- **Struktur**
- Aeroelastik
- Flugdynamik
- Kabinenlayout
- Kosten
- Lärm
- **Crash**
- ...

CPACS Datensatzformat

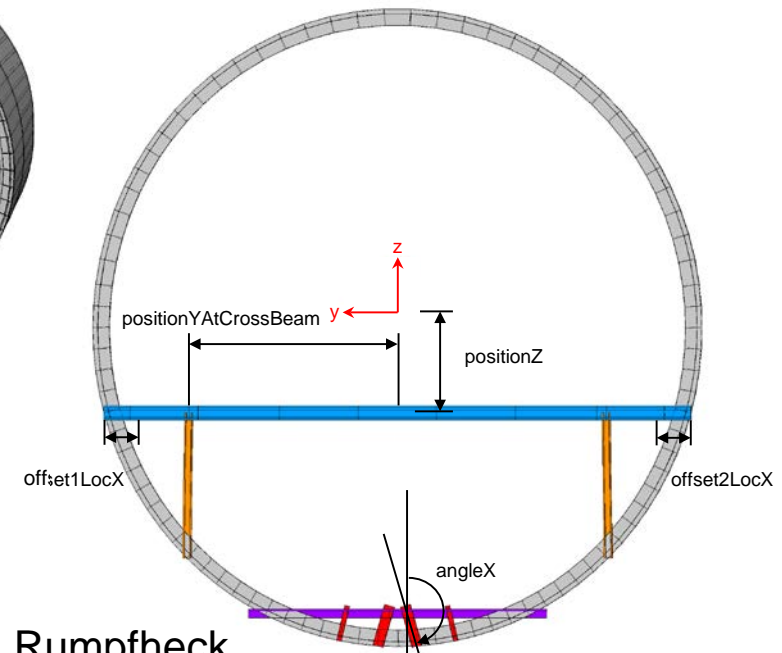
CPACS Datensatzformat (<http://www.cpacs.de>)

Rumpfdefinition

- Ermöglicht detaillierte Beschreibung der Rumpfstrukturkomponenten (Hautfelder, Stringer, Spante, Fußbodenstrukturen, Druckschotte, ...)



Strukturdefinition Rumpfheck



J. Scherer, D. Kohlgrüber: Fuselage Structures within the CPACS Data Format, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Volume 88, Issue 2, 2016

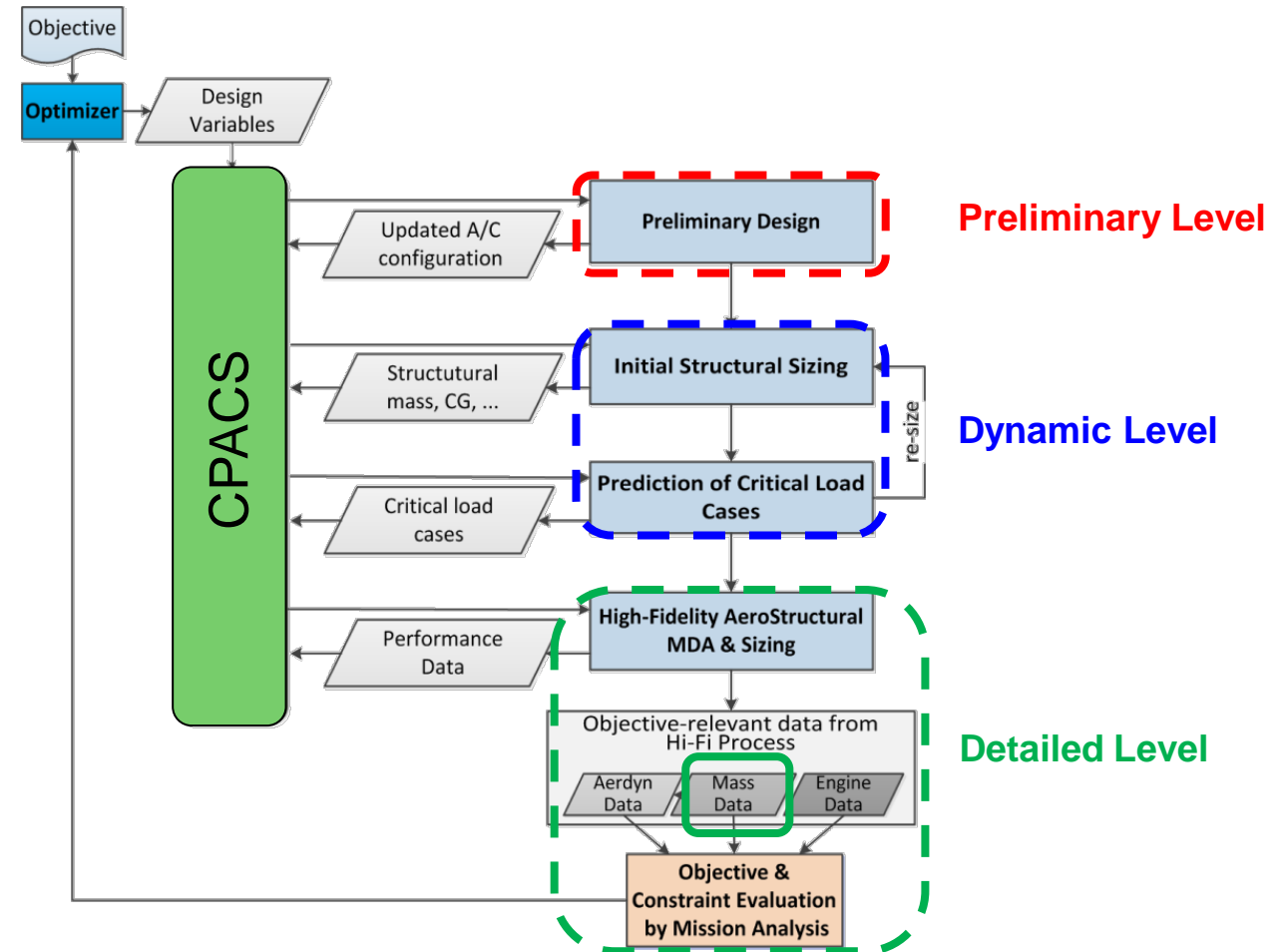
Prozesskette aus Projekt DIGITAL-X

Rumpfdimensionierung / Massenabschätzung

Überblick MDO Kette

- Kombination unterschiedlicher Detaillierungsgrade in einer MDO Kette
- Beiträge zur Rumpfdimensionierung / Massenabschätzung im ‚detailedLevel‘
- MDO Kette unter Nutzung des Frameworks RCE (Remote Component Environment) erstellt (dezentrale Server)

<http://rcenvironment.de/>



S. Görtz, et al.: Multi-Level MDO of a Long-Range Transport Aircraft Using Distributed Analysis Framework, AIAA/ISSMO Conference, 5.-9. Juni 2017, Denver, USA → Best Paper Award

Prozesskette aus Projekt DIGITAL-X

Rumpfdimensionierung / Massenabschätzung

Preliminary Level

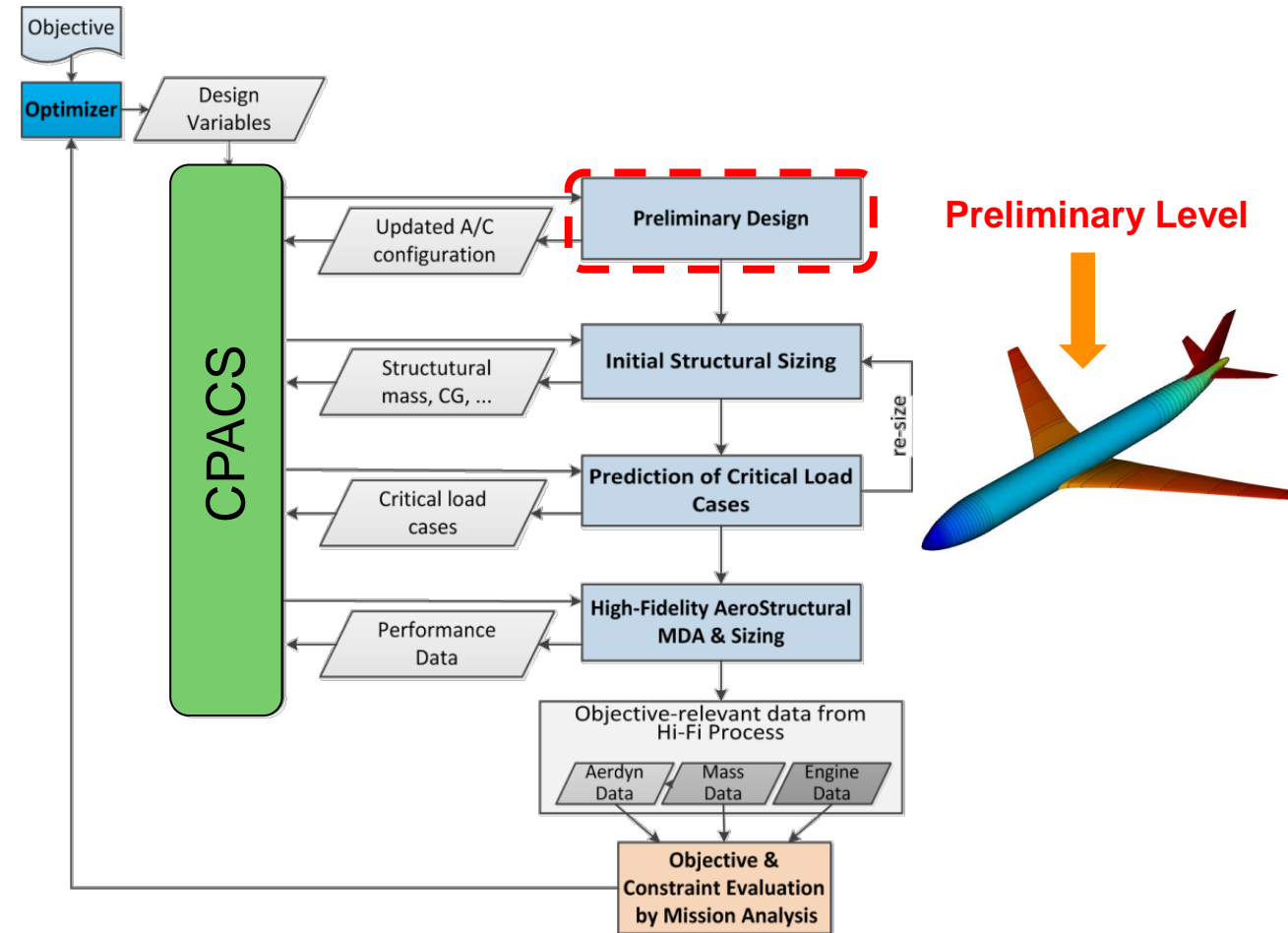
- Festlegung der Konfiguration und globaler Abmessungen (empirische und einfache physikalische Modelle)

Input:

- TLAR (Top Level Aircraft Requirements)
 - PAX Kapazität
 - Reichweite
 - Fluggeschwindigkeit, ...

Output:

- Flugzeuggeometrie
- Initialer CPACS Datensatz



S. Görtz, et al.: Multi-Level MDO of a Long-Range Transport Aircraft Using Distributed Analysis Framework, AIAA/ISSMO Conference, 5.-9. Juni 2017, Denver, USA → Best Paper Award

Prozesskette aus Projekt DIGITAL-X

Rumpfdimensionierung / Massenabschätzung

Dynamic Level

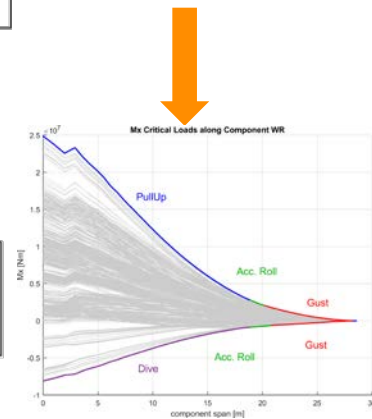
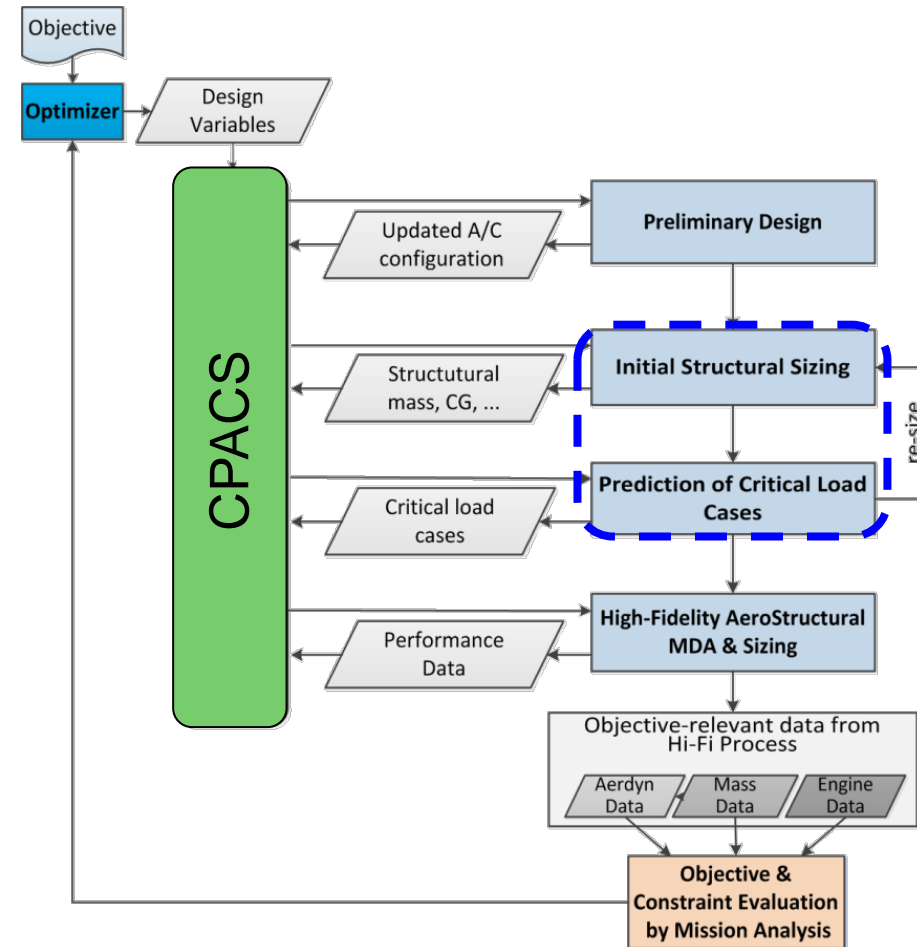
- Lastanalyse nach Zulassungsanforderungen (>1000 Lastfälle)

Input:

- Globale Flugzeugdaten aus dem Konzeptentwurf ‚Preliminary level‘

Output:

- Initiale Strukturdimensionierung
- Kritische Lastfälle (~20-50) und Schnittlasten entlang sogenannter Lastreferenzachsen



DLR-SR

S. Görtz, et al.: Multi-Level MDO of a Long-Range Transport Aircraft Using Distributed Analysis Framework, AIAA/ISSMO Conference, 5.-9. Juni 2017, Denver, USA → Best Paper Award

Prozesskette aus Projekt DIGITAL-X

Rumpfdimensionierung / Massenabschätzung

Detailed Level

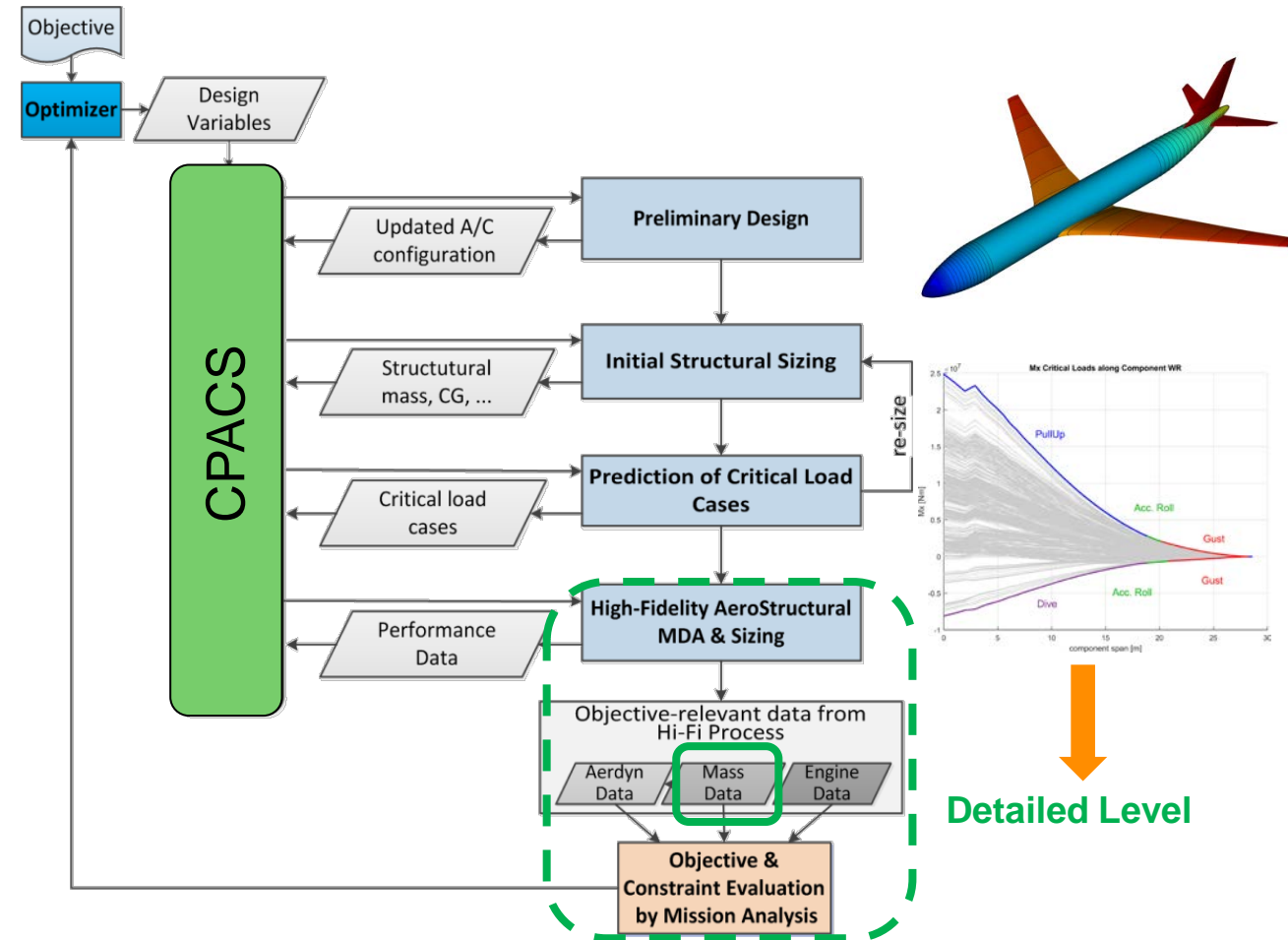
- Flugleistungsrechnung mit CFD
- Strukturdimensionierung
- Massenabschätzung

Input:

- Flugzeugdaten aus dem ‚Preliminary level‘
- Kritische Lastfälle und Schnittlasten aus dem ‚Dynamic level‘

Output:

- Angepasste Wandstärken und Strukturmasse



Detailed Level

S. Görtz, et al.: Multi-Level MDO of a Long-Range Transport Aircraft Using Distributed Analysis Framework, AIAA/ISSMO Conference, 5.-9. Juni 2017, Denver, USA → Best Paper Award

Rumpfmodellierung

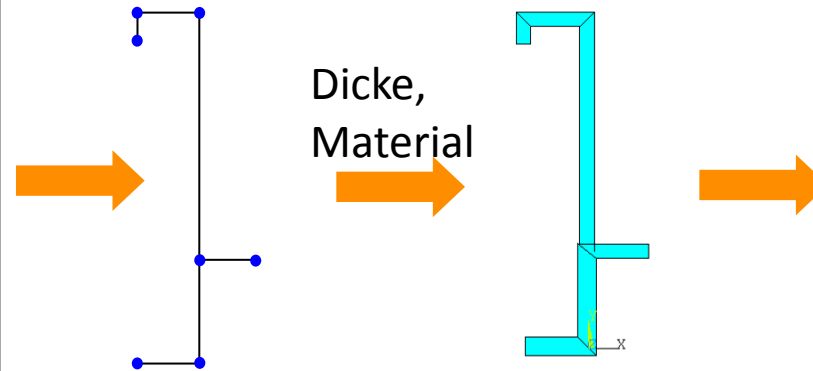
Modellaufbau

- Haut als Schalenelemente mit diskreten Versteifungen (Balken)
- Beliebige Profilquerschnitte mit frei kombinierbaren Wandstärken
- Isotrope Materialdaten

Profilbeschreibung
in CPACS (*.xml)
(*structuralProfile*)

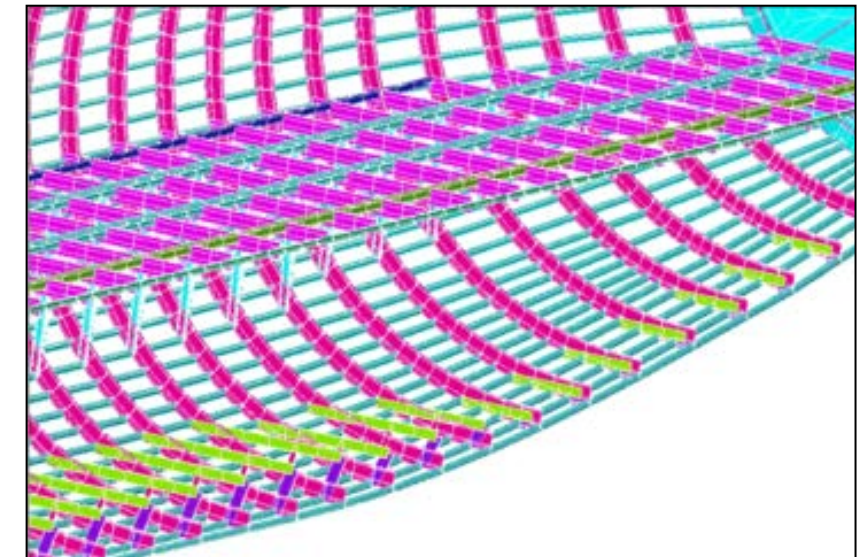


Modellierung der
Querschnittsfläche
(*structuralElement*)



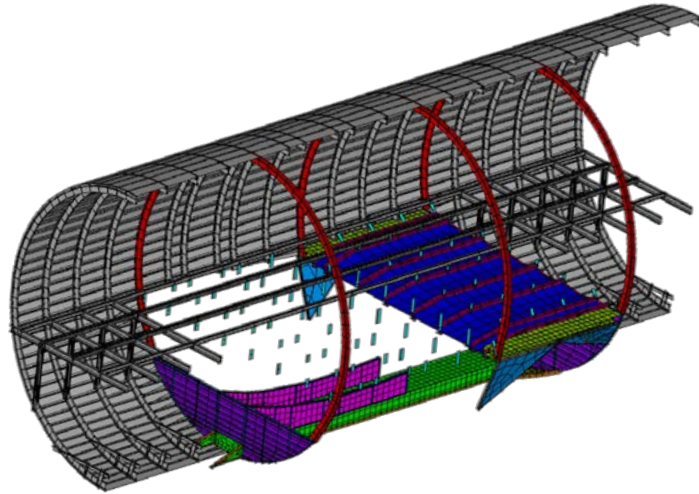
Rumpfmodellaufbau

Übertragung auf
Rumpfmodell
durch Extrusion

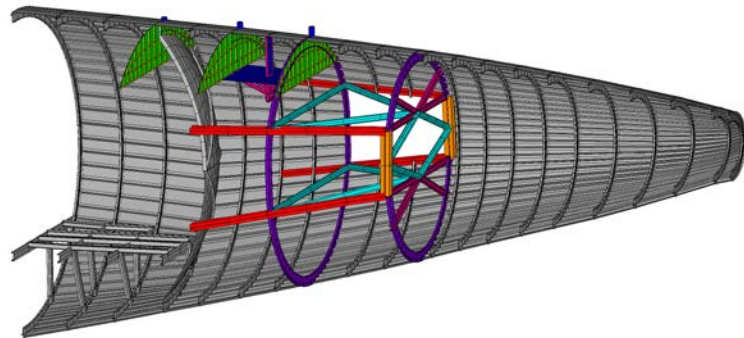


Rumpfmodellierung

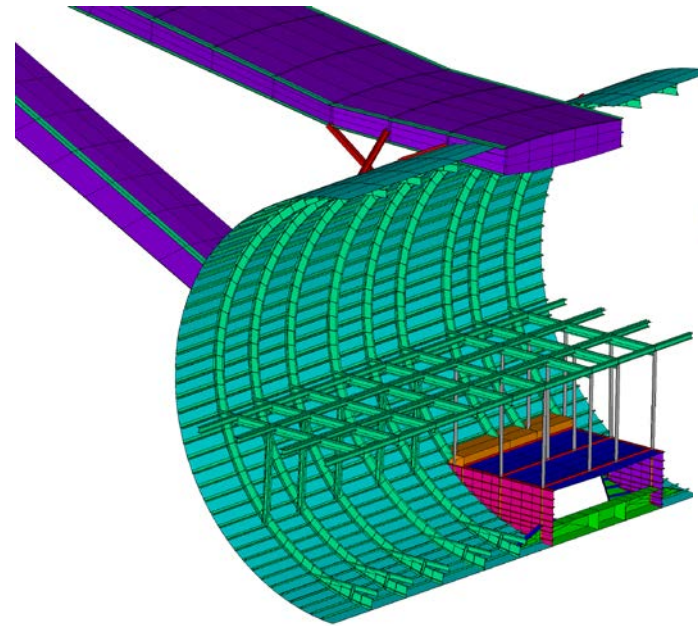
Exempl. Strukturdetails (Flügel-, Leitwerkskopplung, Hochdecker, Abstreibungen)



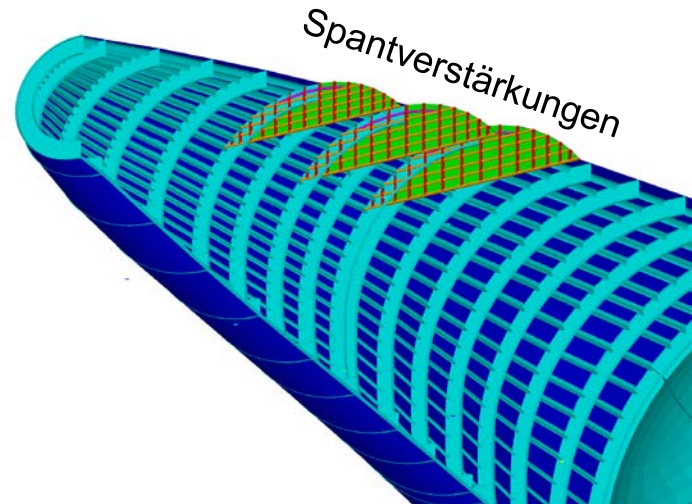
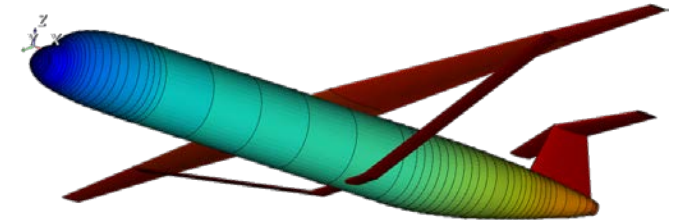
Flügel- /Rumpfkopplung



Leitwerkskopplung



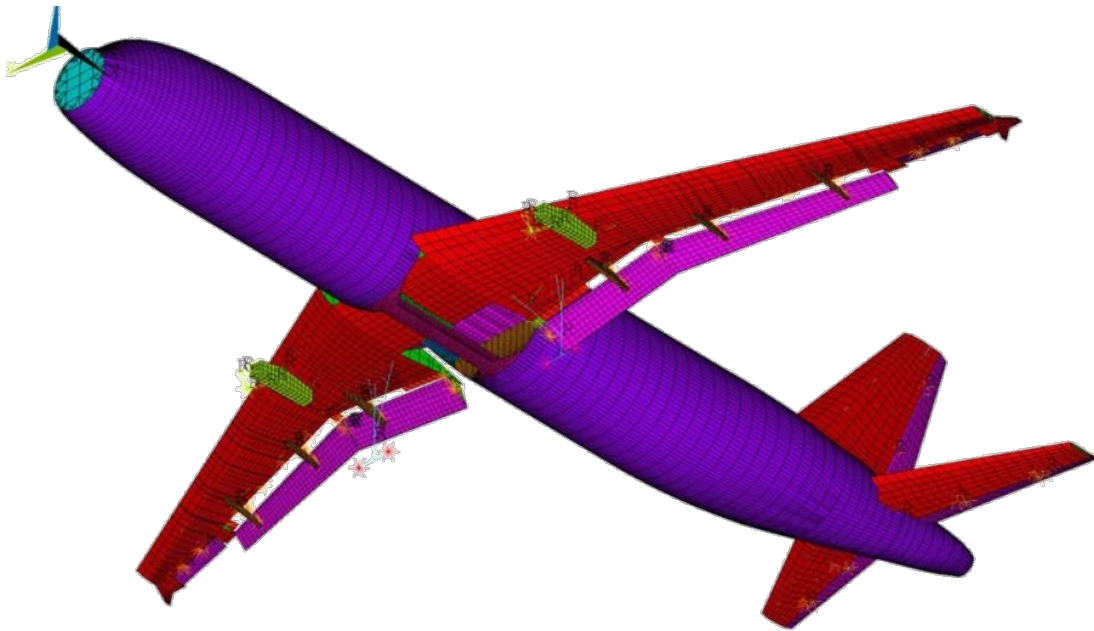
Hochdecker, bzw. SBW



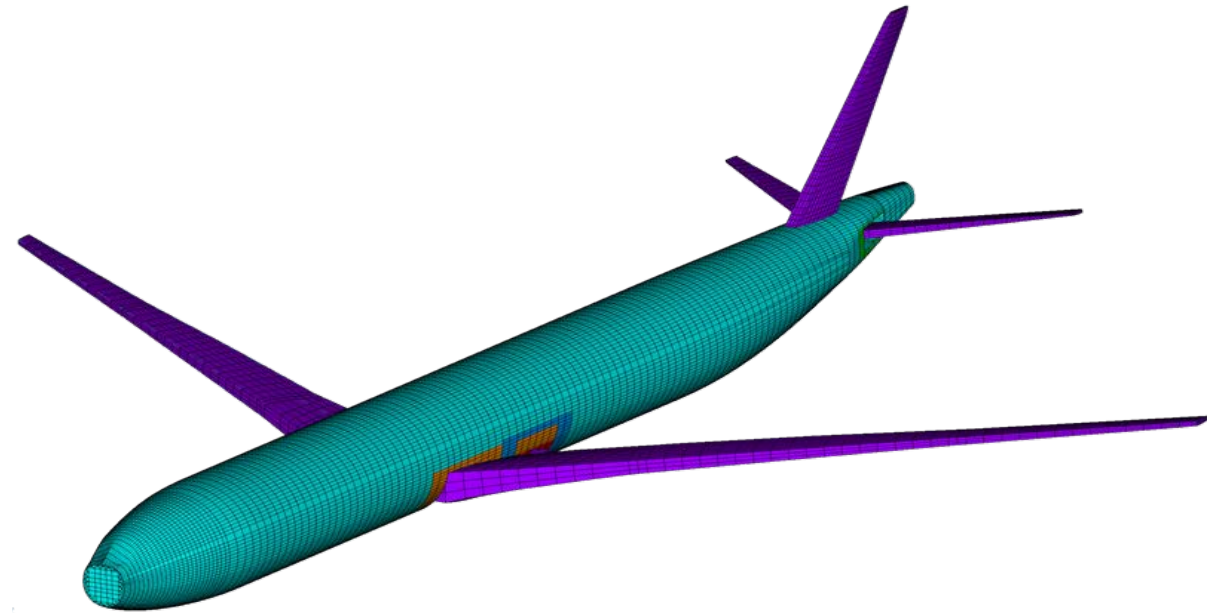
Anpassung für T-Leitwerk

Gesamtflugzeugmodellierung

Anwendungsbeispiele (Flügelmodelle von DLR Partnerinstituten)



Mittelstrecke (D150, ähnlich A320)

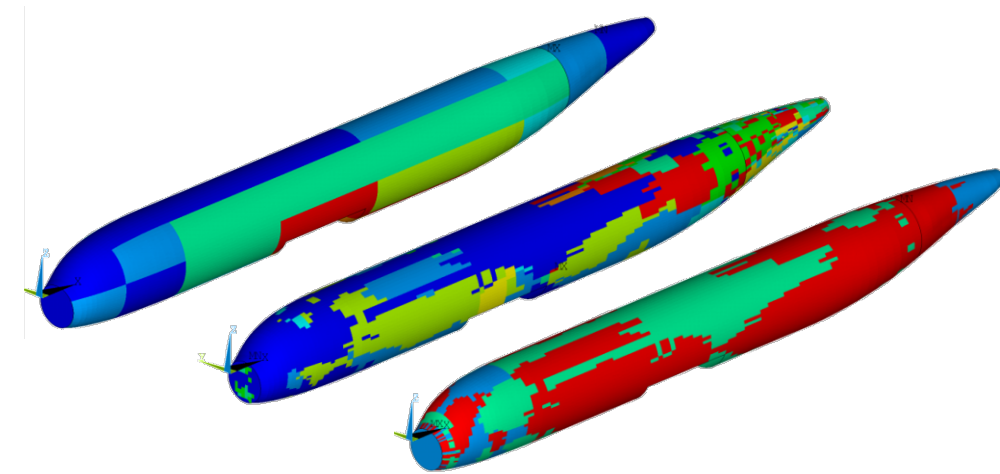


Langstrecke (XRF1, ähnlich A330)

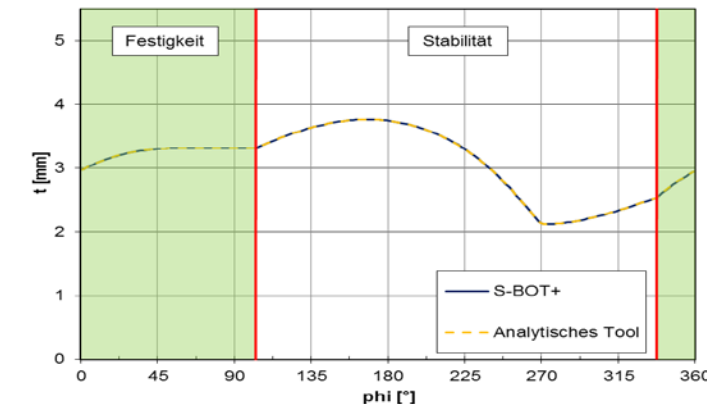
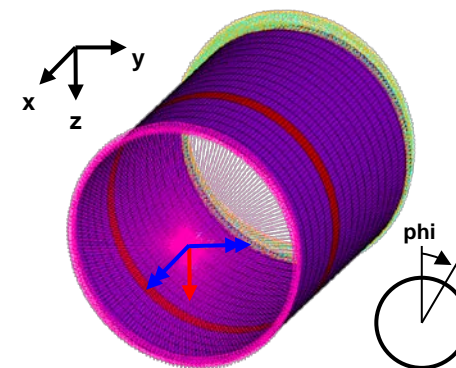


Statische Dimensionierung (Tool S-BOT+)

- ANSYS basiertes Dimensionierungsverfahrens (Erste Version aus anderen DLR Instituten)
- Fähigkeiten von S-BOT+
 - Dimensionierung von Schalen- und Balkenelementen
 - Beliebige Anzahl von Lastfällen
 - Isotrope und **anisotrope** Materialien
 - Festigkeit: ‚Fully stressed design‘
 - Steifigkeit: nur lokales Hautbeulen (Bruhn)
 - Konvergenzkriterien nach Massenänderung oder Wandstärkenänderung
- Validierung durch Vergleich mit analytischem Verfahren (IFB Uni Stuttgart)



Wandstärke, dimensionierende Lastfälle und dim. Kriterium



Vergleich S-BOT+ zu analytischem Tool

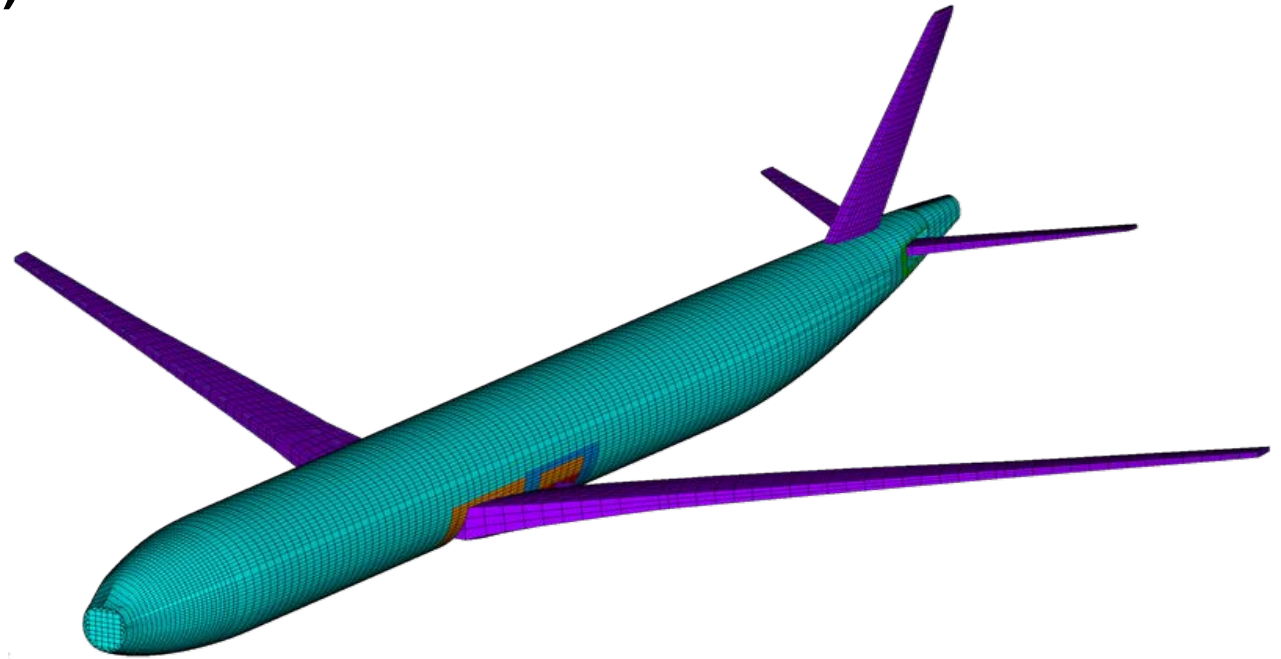
J. Scherer, D. Kohlgrüber, F. Dorbath, M. Sorour: A Finite Element Based Tool Chain for Structural Sizing of Transport Aircraft in Preliminary Aircraft Design, DLRK 2013, 9.-11.09.2013, Stuttgart

Einbindung in MDO Ketten des DLR

Rumpfdimensionierung/Massenabschätzung

Exemplarischer Beitrag zu einer multidisziplinären Analyse (Projekt Digital-X)

- Erstellung und Anpassung des Rumpfmodells bei Veränderung der Konfiguration



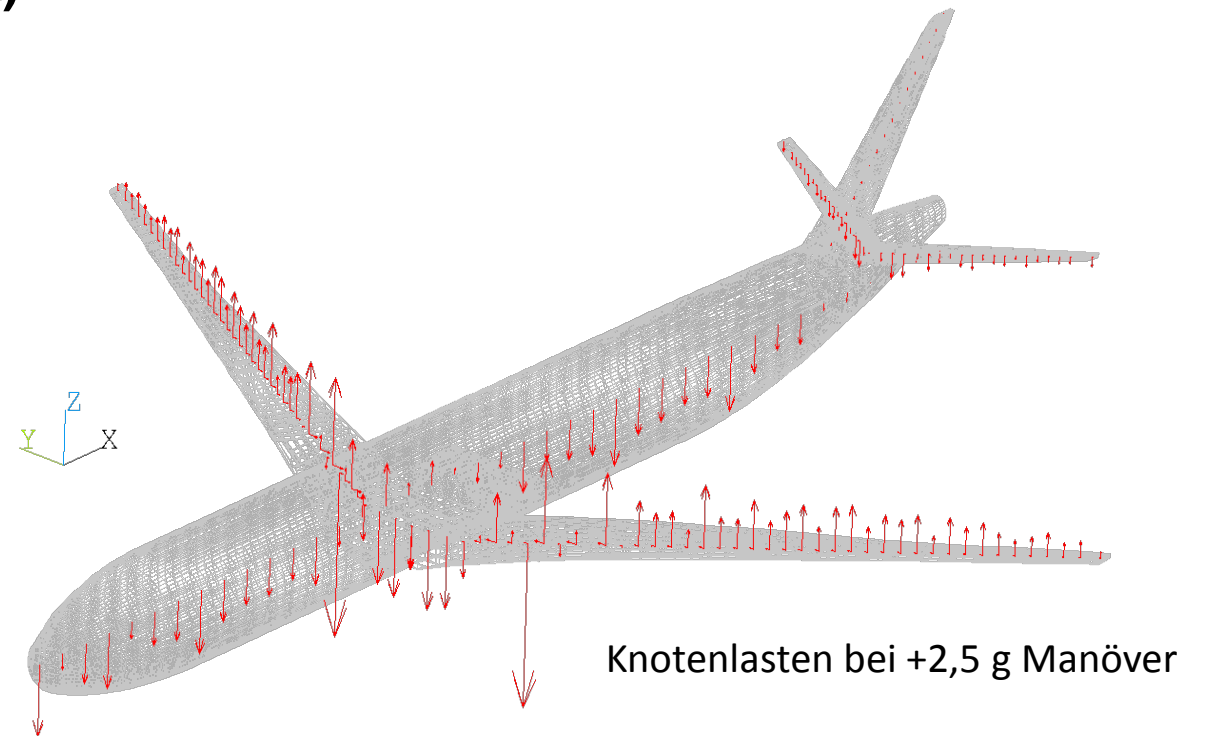
A. Schuster, J. Scherer, T. Führer, T. Bach, D. Kohlgrüber: Automated Sizing Process of Complete Aircraft Structure for the Usage within a MDO Process, DLRK 2016, 13.-15.09.2013, Braunschweig

Einbindung in MDO Ketten des DLR

Rumpfdimensionierung/Massenabschätzung

Exemplarischer Beitrag zu einer multidisziplinären Analyse (Projekt Digital-X)

- Erstellung und Anpassung des Rumpfmodells bei Veränderung der Konfiguration
- Aufbringen der jeweils kritischen Lasten aus der Lastanalyse



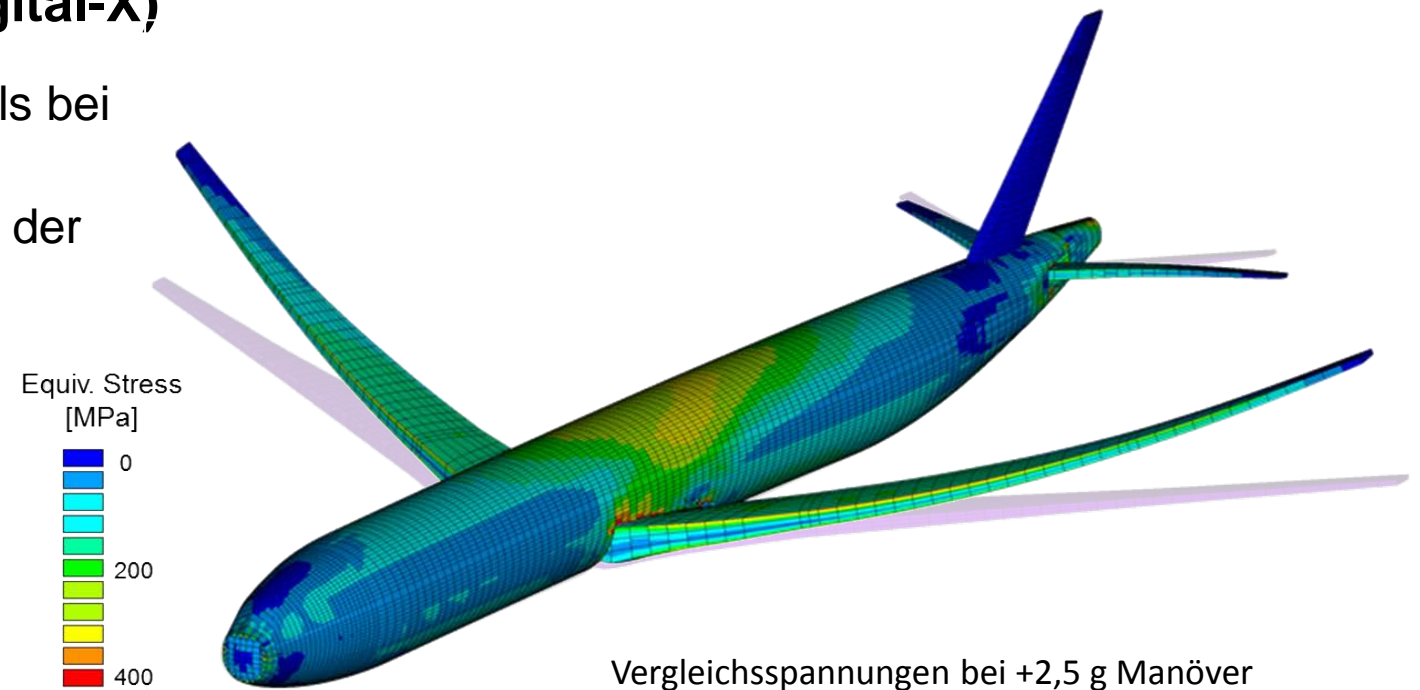
A. Schuster, J. Scherer, T. Führer, T. Bach, D. Kohlgrüber: Automated Sizing Process of Complete Aircraft Structure for the Usage within a MDO Process, DLRK 2016, 13.-15.09.2013, Braunschweig

Einbindung in MDO Ketten des DLR

Rumpfdimensionierung/Massenabschätzung

Exemplarischer Beitrag zu einer multidisziplinären Analyse (Projekt Digital-X)

- Erstellung und Anpassung des Rumpfmodells bei Veränderung der Konfiguration
- Aufbringen der jeweils kritischen Lasten aus der Lastanalyse
- Statische Analyse (ANSYS)



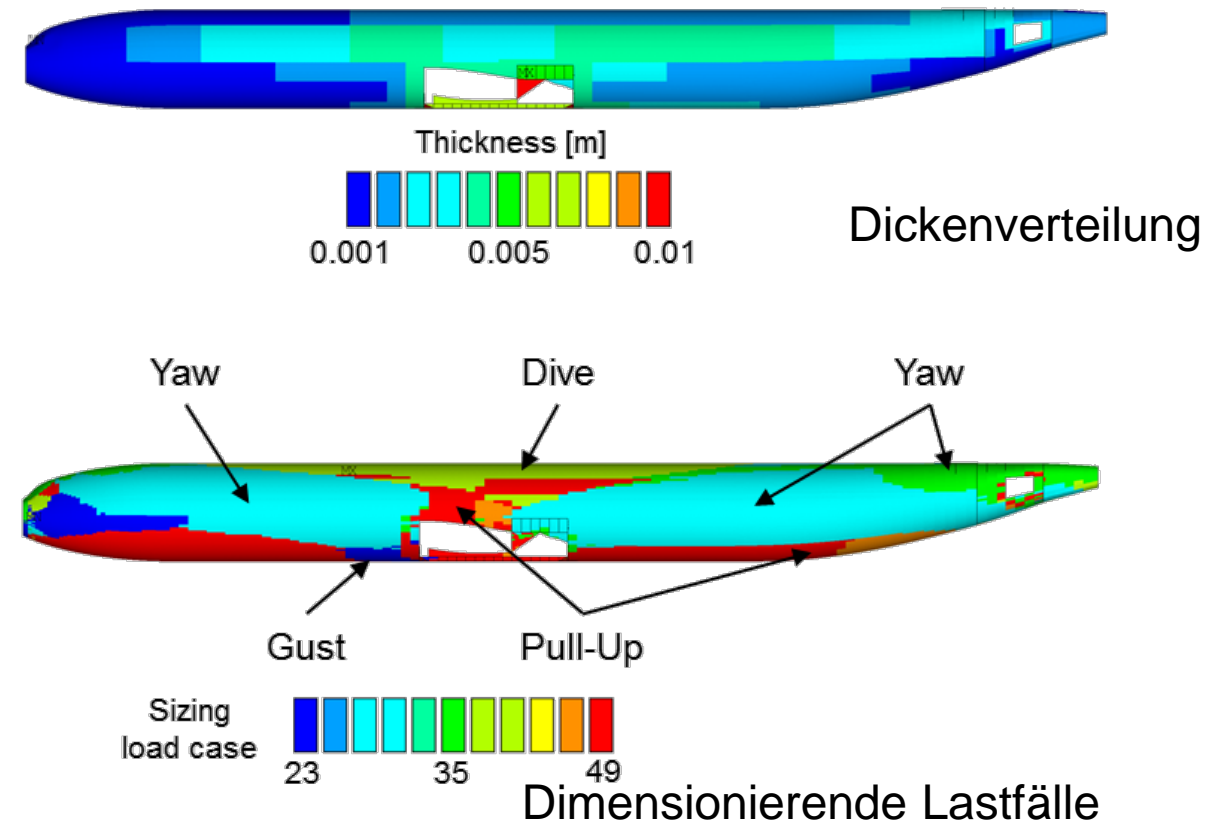
A. Schuster, J. Scherer, T. Führer, T. Bach, D. Kohlgrüber: Automated Sizing Process of Complete Aircraft Structure for the Usage within a MDO Process, DLRK 2016, 13.-15.09.2013, Braunschweig

Einbindung in MDO Ketten des DLR

Rumpfdimensionierung/Massenabschätzung

Exemplarischer Beitrag zu einer multidisziplinären Analyse (Projekt Digital-X)

- Erstellung und Anpassung des Rumpfmodells bei Veränderung der Konfiguration
- Aufbringen der jeweils kritischen Lasten aus der Lastanalyse
- Statische Analyse (ANSYS)
- Dimensionierung der Rumpfstruktur und Massenabschätzung für Primärstruktur



A. Schuster, J. Scherer, T. Führer, T. Bach, D. Kohlgrüber: Automated Sizing Process of Complete Aircraft Structure for the Usage within a MDO Process, DLRK 2016, 13.-15.09.2013, Braunschweig

Bewertung der Prozesskette (Stand 2016)

+ Rumpfmodellierung und -dimensionierung erfolgreich in MDO-Ketten integriert

aber

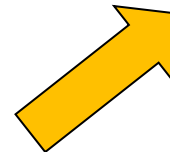
- Modellierung und -dimensionierung benötigen das FE Paket ANSYS (vorwiegend APDL Skripte)
- Erweiterung der Versagenskriterien durch APDL Nutzung eingeschränkt
- Nutzung alternativer Löser kaum möglich
- Laufzeiten trotz erheblicher Verbesserungen noch recht hoch
 - Modellerstellung: ~ 20 min, Dimensionierung: ~2h (17 Lastfälle, 5 Iterationen)

Sehr eingeschränkte Flexibilität

➔ Neuentwicklung der Modellierungs- und Dimensionierungsumgebung PANDORA (Parametric Numerical Design and Optimization Routines for Aircraft)

Flexibilität

Leistungsfähigkeit



PANDORA

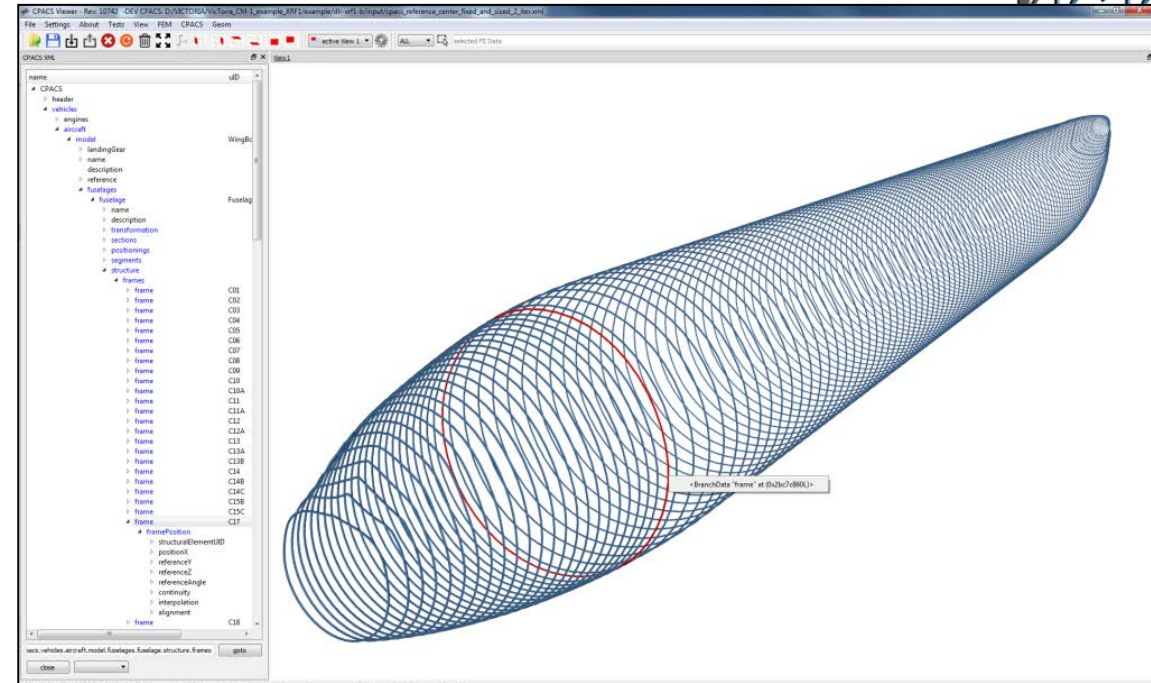
Parametric Numerical Design and Optimization Routines for Aircraft

- PYTHON basiertes Modellierungs- und Dimensionierungstool
- Ersetzt mittelfristig alle individuell entwickelten Tools bei BT
- Offene Datenstruktur zur Erleichterung von Erweiterungen (z.B. neue Versagenskriterien)
- Open source innerhalb des DLR
 - (<https://svn.dlr.de/PANDORA>)
 - Verfügbar seit Juli 2017
- Weiterentwicklung / Austausch mit ext. Partnern denkbar / erwünscht
- Integrierte GUI cpacs_viewer



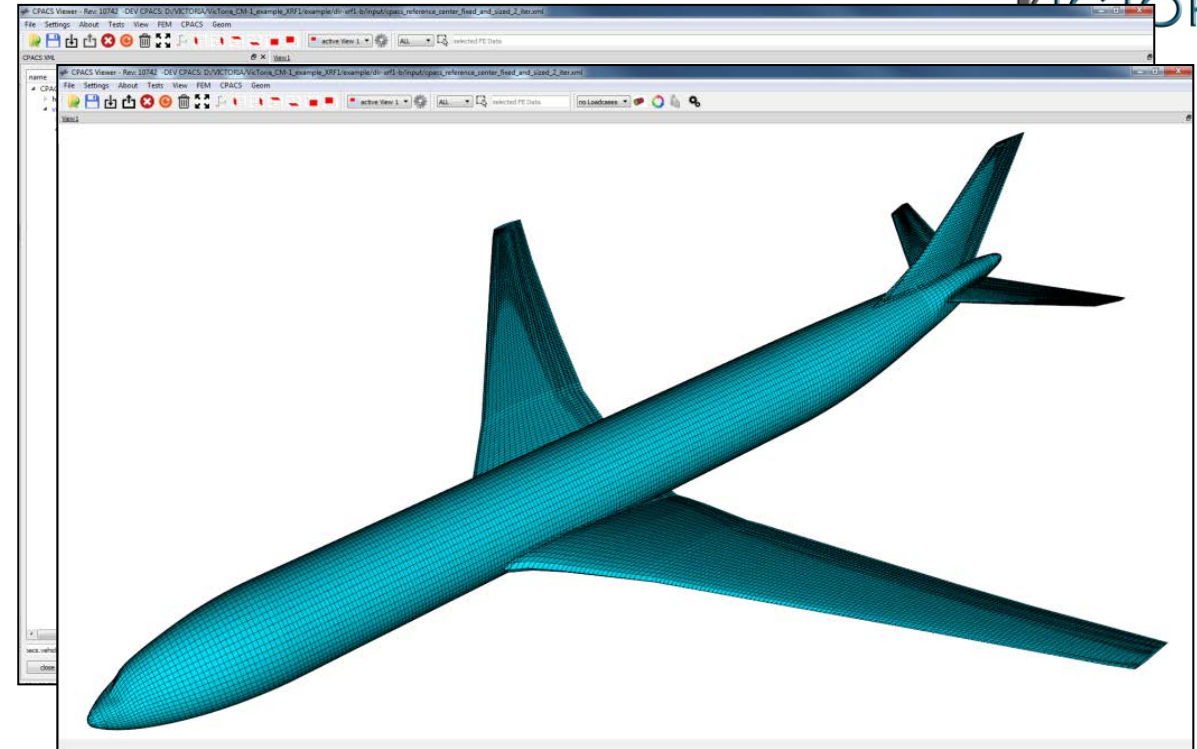
PANDORA

- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation



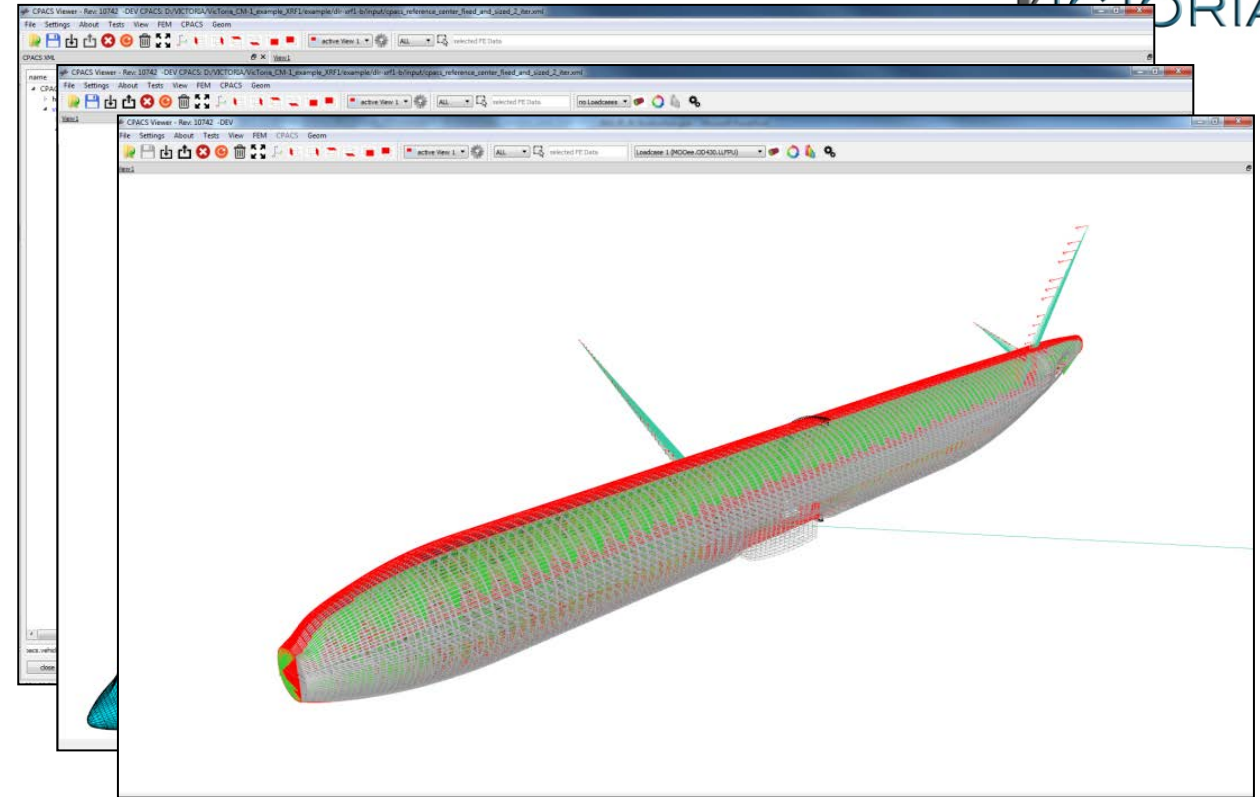
PANDORA

- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Oberflächenmodelle (z.B. Dicing)



PANDORA

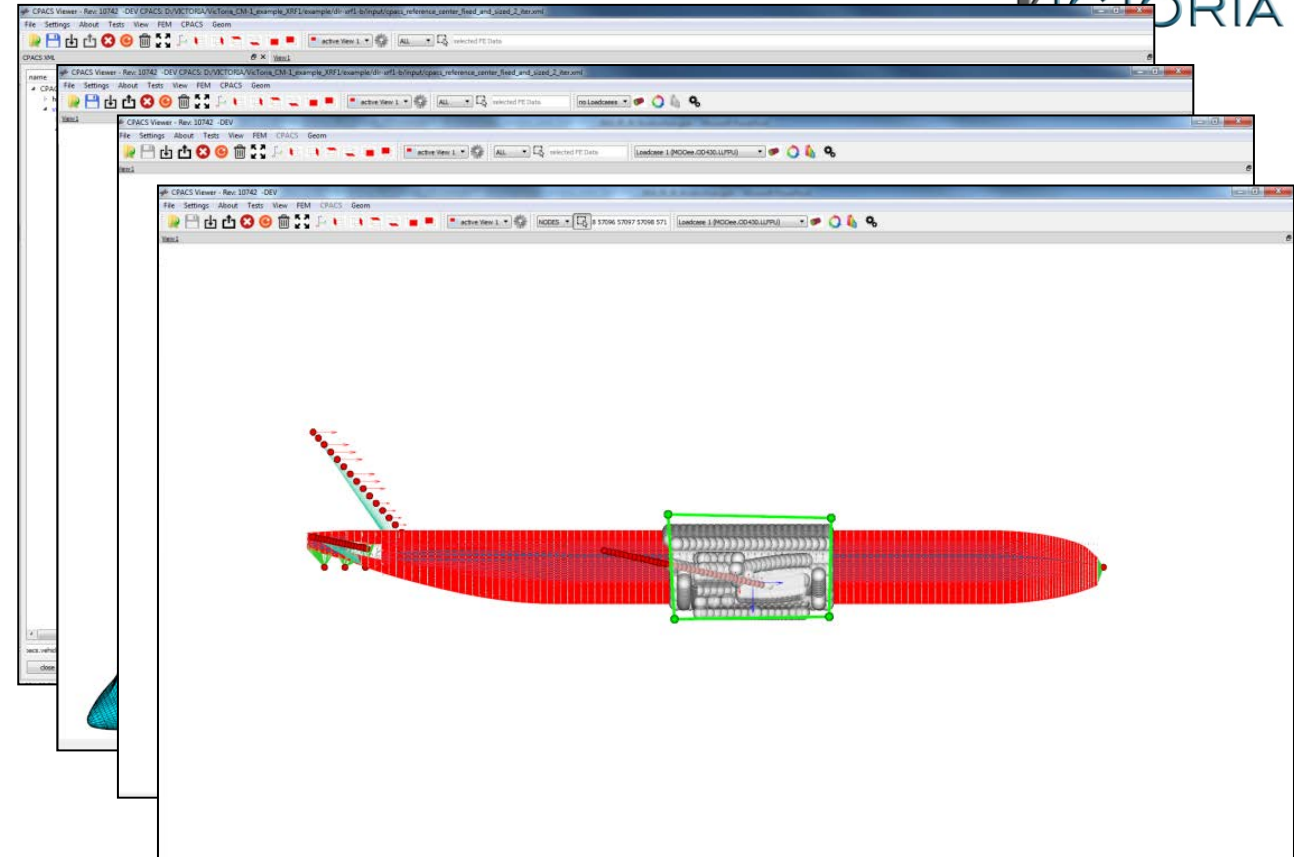
- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Oberflächenmodelle (z.B. Dicing)
 - GFEM Rumpfmodell (~2 min)



M. Petsch, J. Walther, D. Kohlgrüber: Development of a Fully Automated Transport Aircraft Fuselage Modelling and Sizing Tool using Python, DLRK 2017, 5.-7.09.2017, München

PANDORA

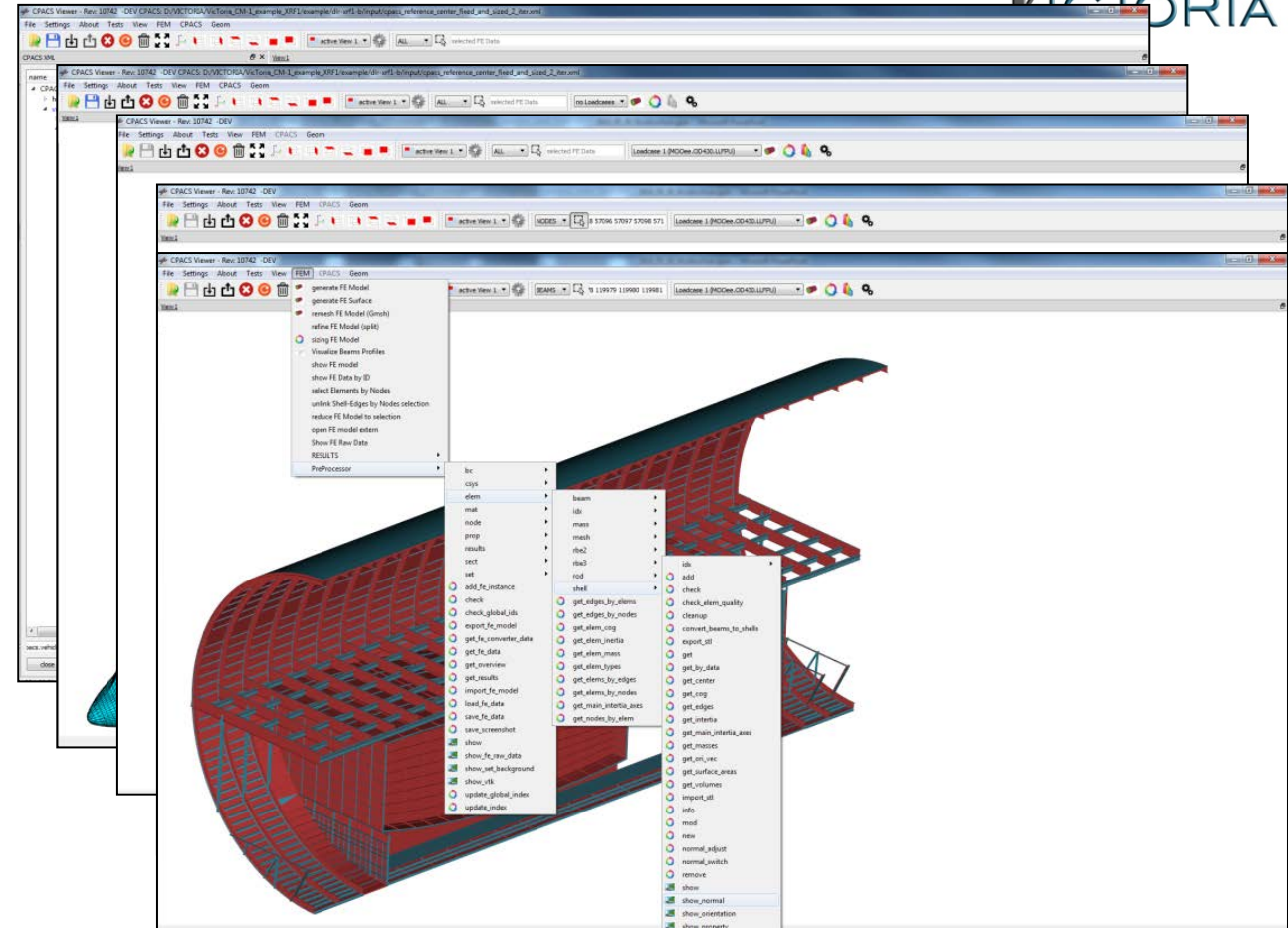
- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Oberflächenmodelle (z.B. Dicing)
 - GFEM Rumpfmodell (~2 min)
 - FE Präprozessor-Funktionalitäten



M. Petsch, J. Walther, D. Kohlgrüber: Development of a Fully Automated Transport Aircraft Fuselage Modelling and Sizing Tool using Python, DLRK 2017, 5.-7.09.2017, München

PANDORA

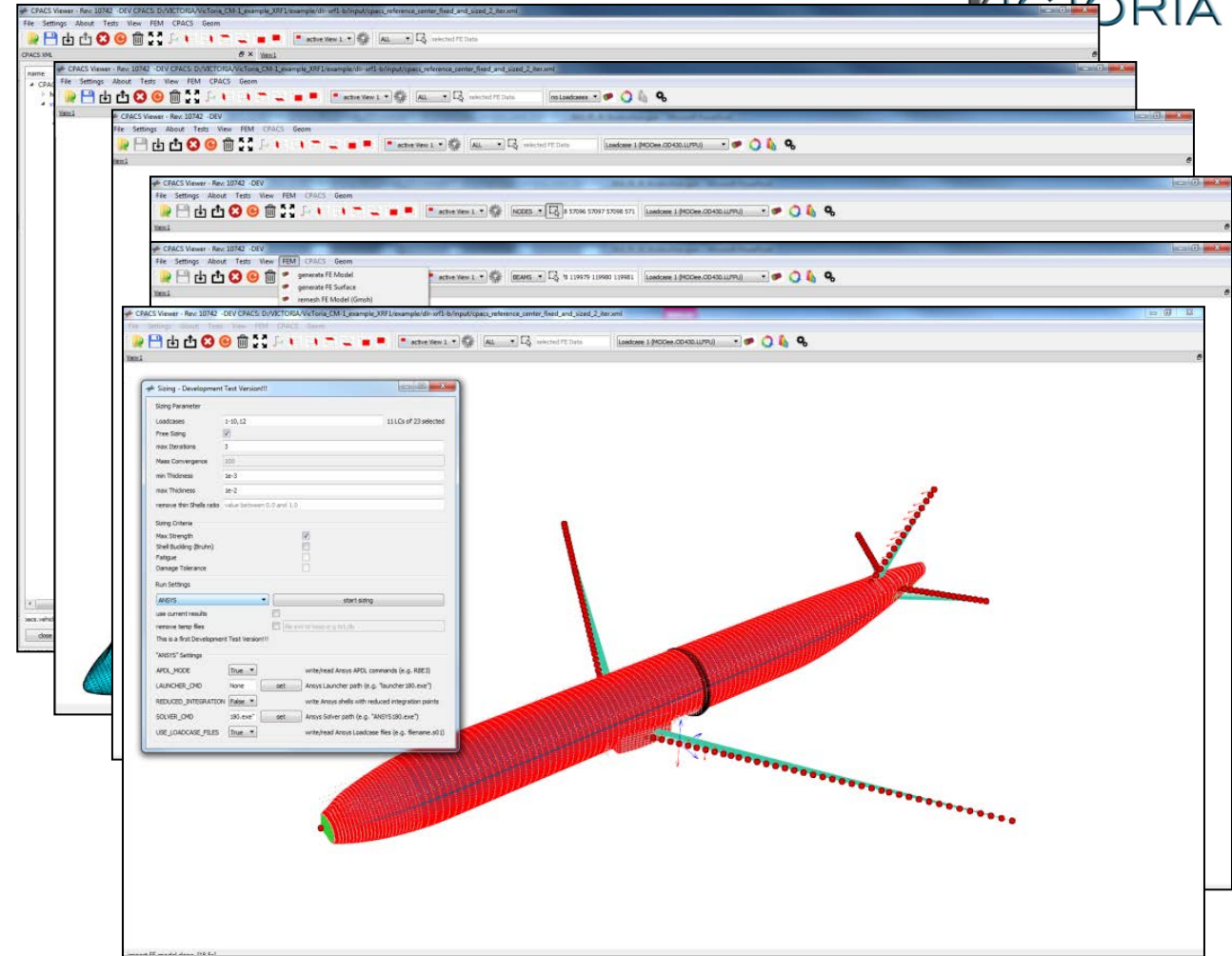
- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Oberflächenmodelle (z.B. Dicing)
 - GFEM Rumpfmodell (~2 min)
 - FE Präprozessor-Funktionalitäten



M. Petsch, J. Walther, D. Kohlgrüber: Development of a Fully Automated Transport Aircraft Fuselage Modelling and Sizing Tool using Python, DLRK 2017, 5.-7.09.2017, München

PANDORA

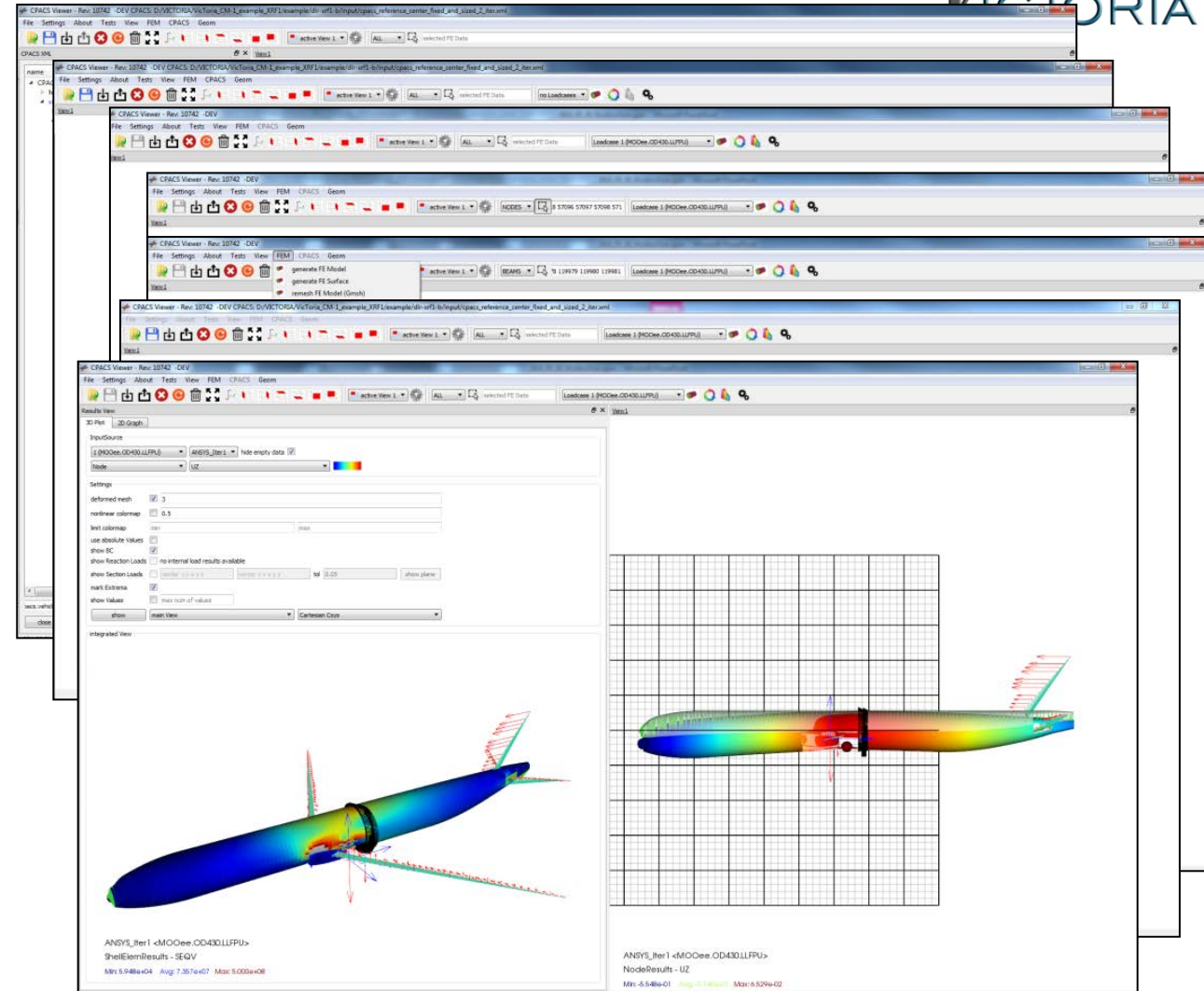
- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Oberflächenmodelle (z.B. Dicing)
 - GFEM Rumpfmodell (~2 min)
 - FE Präprozessor-Funktionalitäten
 - Datenkonvertierung für unterschiedliche Löser
 - Proprietär: ANSYS, NASTRAN, ABAQUS,
 - Open Source: Code Aster, B2000++, ...



M. Petsch, J. Walther, D. Kohlgrüber: Development of a Fully Automated Transport Aircraft Fuselage Modelling and Sizing Tool using Python, DLRK 2017, 5.-7.09.2017, München

PANDORA

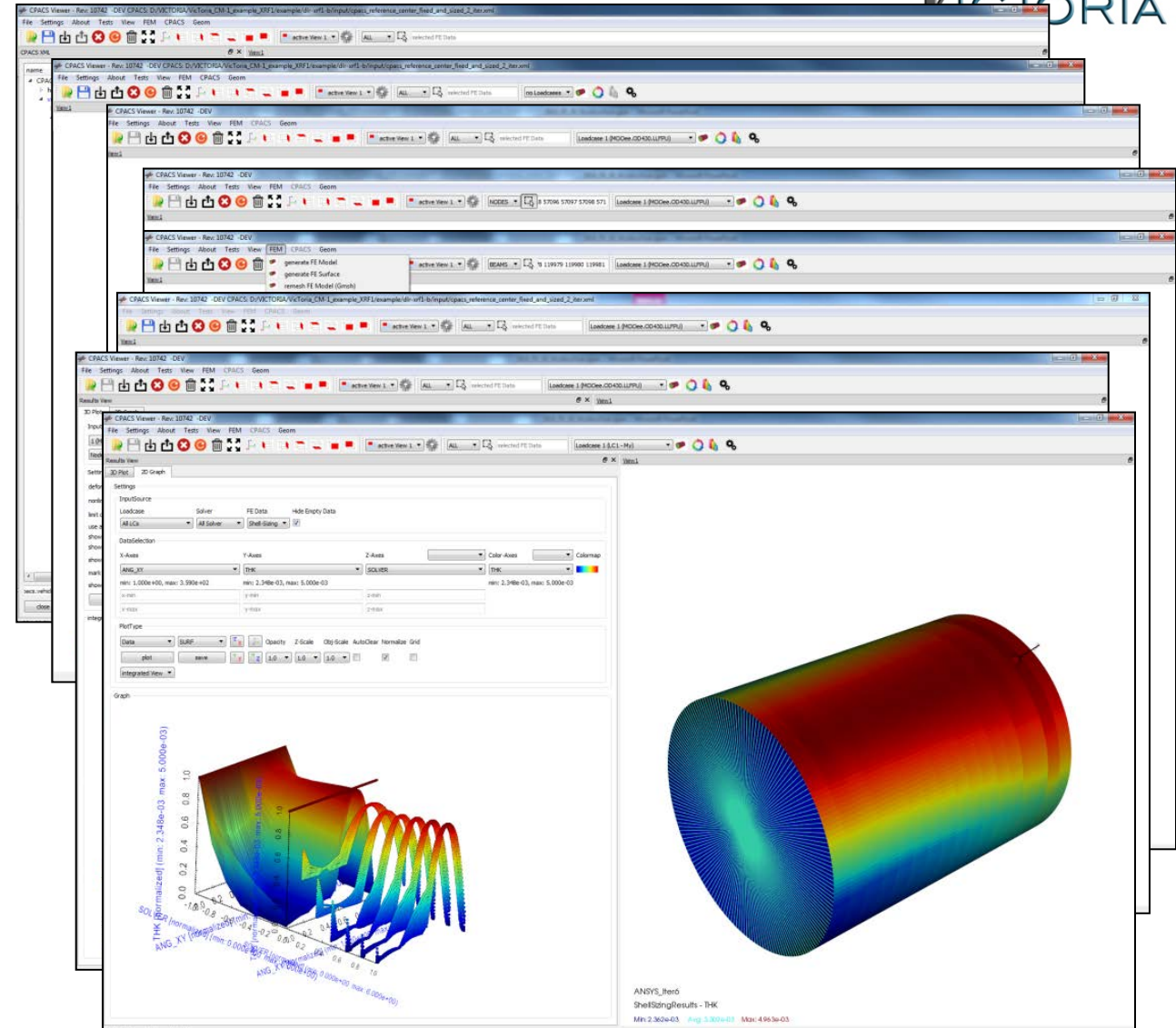
- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Oberflächenmodelle (z.B. Dicing)
 - GFEM Rumpfmodell (~2 min)
 - FE Präprozessor-Funktionalitäten
 - Datenkonvertierung für unterschiedliche Löser
 - Proprietär: ANSYS, NASTRAN, ABAQUS,
 - Open Source: Code Aster, B2000++, ...
 - Starten von FE Analysen
 - Visualisierung von FE Ergebnissen



M. Petsch, J. Walther, D. Kohlgrüber: Development of a Fully Automated Transport Aircraft Fuselage Modelling and Sizing Tool using Python, DLRK 2017, 5.-7.09.2017, München

PANDORA

- Aktuelle Funktionalitäten
 - CPACS Visualisierung/ Manipulation
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Oberflächenmodelle (z.B. Dicing)
 - GFEM Rumpfmodell (~2 min)
 - FE Präprozessor-Funktionalitäten
 - Datenkonvertierung für unterschiedliche Löser
 - Proprietär: ANSYS, NASTRAN, ABAQUS,
 - Open Source: Code Aster, B2000++, ...
 - Starten von FE Analysen
 - Visualisierung von FE Ergebnissen
 - Statische Dimensionierung der Rumpfhaut (Festigkeit und lokale Stabilität)
 - (<20 min für 17 Lastfälle, 5 Iteration)



M. Petsch, J. Walther, D. Kohlgrüber: Development of a Fully Automated Transport Aircraft Fuselage Modelling and Sizing Tool using Python, DLRK 2017, 5.-7.09.2017, München

Erweiterungen der Strukturaspekte in MDA/ MDO - Ketten



- Vorgesehene Erweiterungen der Multi-disziplinären Analysen
 - Erweiterung der Versagenskriterien bzgl. Ermüdung und Rissfortschritt (isotrop)
 - Kopplung zu bruchmechanischen Analysen bei DLR-WF
 - Erweiterung der Prozesskette zur Berücksichtigung kurzzeitdynamischer Lastfälle
 - Crashanalyse an Sektionen bis zum Gesamtflugzeug
 - Ditchingsimulation (Notwasserung) mit flexiblem Gesamtflugzeug

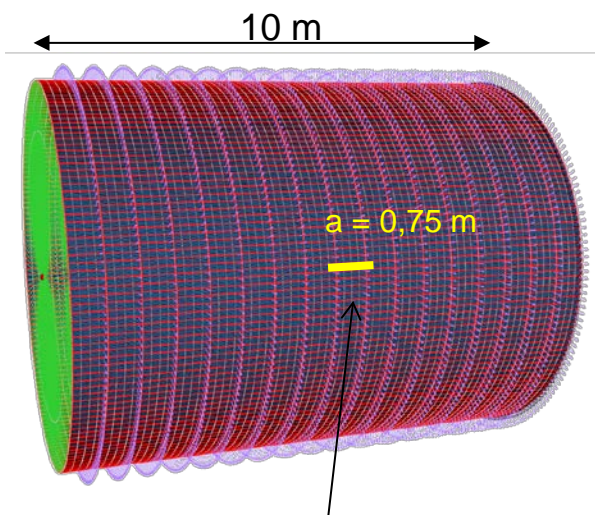


Erweiterungen der Strukturaspekte in MDA/ MDO – Kettenkopplung zu bruchmechanischen Analysen bei DLR-WF



PANDORA (Test an Tonne)

(Grobmodel mit Elementkantenlänge 0,15 m (longitudinal) x 0,14 m (tangential))



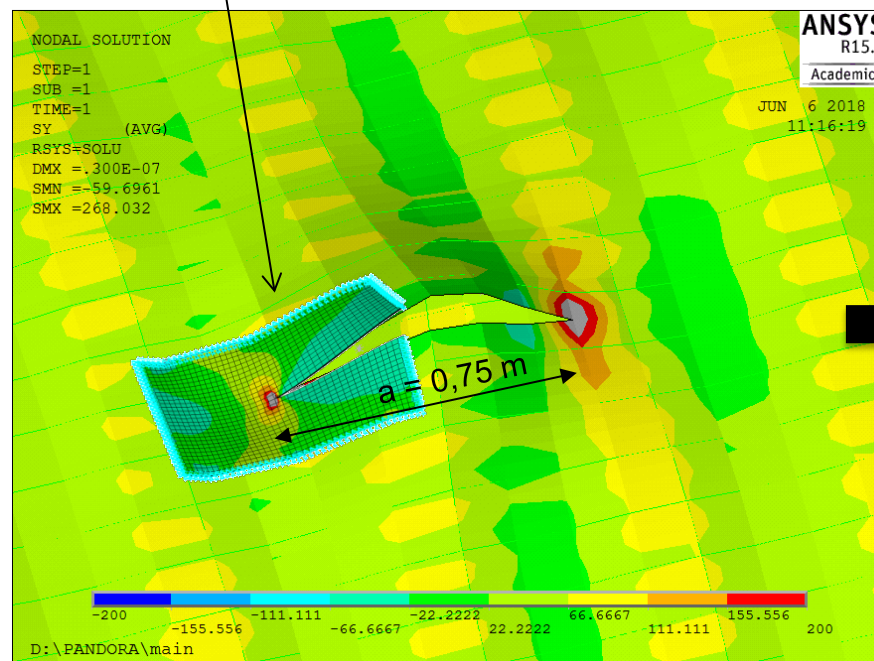
Einbringen eines Risses durch Aufknüpfen von Elementkanten

Lösung des Grobmodels

Aufprägen der Verschiebungen auf Submodel aus

Submodel in ANSYS

mit Elementkantenlänge = 0,01 m (longitudinal und tangential)



Extraktion der Spannungsintensitätsfaktoren K_I , K_{II} , K_{III} aus Lösung des Submodels

Übertragung auf Gesamttrumpf mit realistischem Lastfall aktuell in Arbeit

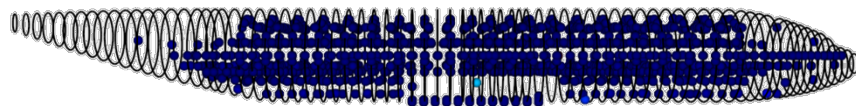


Erweiterungen der Strukturaspekte in MDA/ MDO – Ketten

Ditchingsimulation mit flexiblem Gesamtflugzeug

- Bisher gekoppelte Simulationen mit starren Flugzeugmodellen
 - Validierte FE/ SPH Methode
 - CPACS basierte Modellerstellung
 - Vereinfachtes Aerodynamikmodell für Ditching
 - Triebwerks-, Pylonmodell mit Versagensmodell

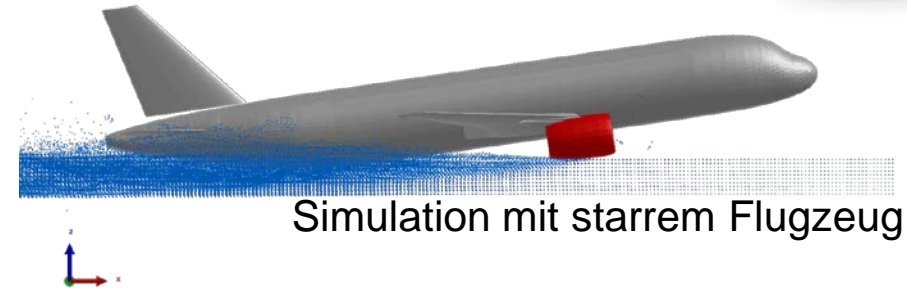
- Aktuell Erweiterung zu flexiblem Rumpfmodell
 - Erfordert detailliertes Massenmodell
 - Anbindung von Zusatzmassen an Primärstruktur



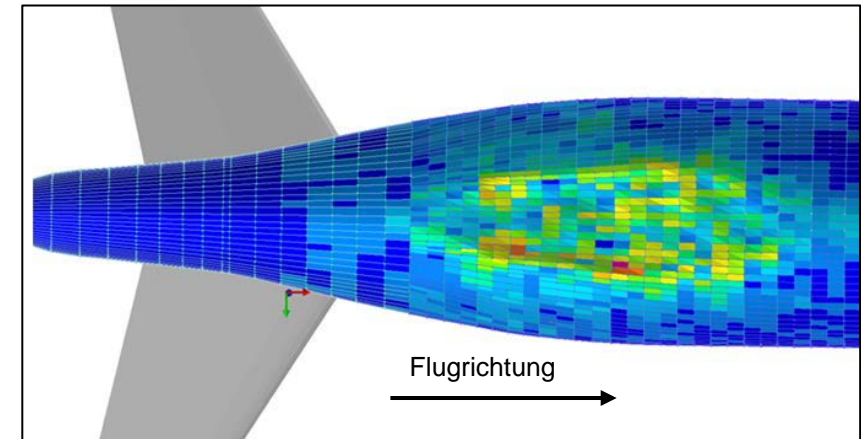
1574 Zusatzmassen



Erste Simulationen durchgeführt,
komplette Integration in PANDORA geplant



Simulation mit starrem Flugzeug



Deformationen bei flexiblem Flugzeug



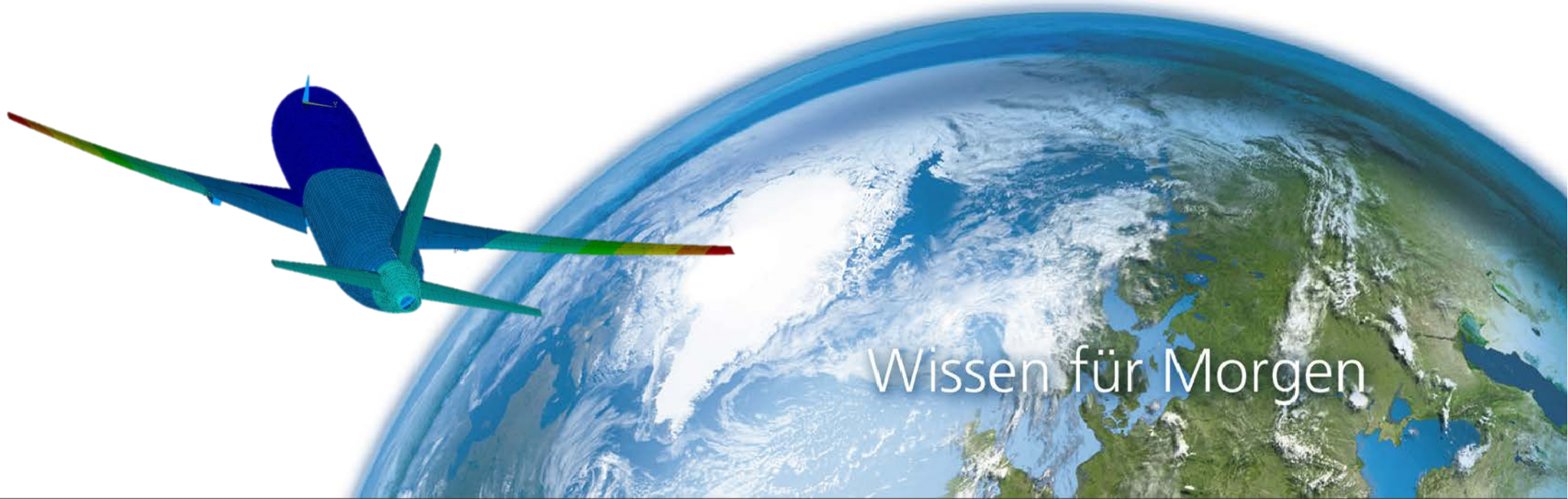
Kollegen, die maßgeblich zu den gezeigten Ergebnissen beigetragen haben

Michael Petsch, Dominik Schwinn, Christian Leon

Julian Schwinn (DLR-WF)

sowie mehrere ehem. Kollegen und Studenten

Fragen ?



Wissen für Morgen

Zugehörige Publikationen

- [1] *J. Scherer, D. Kohlgrüber: Fuselage Structures within the CPACS Data Format, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Volume 88, Issue 2, 2016*
- [2] *J. Scherer, D. Kohlgrüber, F. Dorbath, M. Sorour: A Finite Element Based Tool Chain for Structural Sizing of Transport Aircraft in Preliminary Aircraft Design, DLRK 2013, 9.-11.09.2013, Stuttgart*
- [3] *S. Görtz, et al.: Multi-Level MDO of a Long-Range Transport Aircraft Using Distributed Analysis Framework, IAA/ISSMO Conference, 5.-9. Juni 2017, Denver, USA*
- [4] *A. Schuster, J. Scherer, T. Führer, T. Bach, D. Kohlgrüber: Automated Sizing Process of Complete Aircraft Structure for the Usage within a MDO Process, DLRK 2016, 13.-15.09.2013, Braunschweig*
- [5] *J-N Walther, M. Petsch, D. Kohlgrüber: Modeling of CPACS-based fuselage structures using Python. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 89 (5), Seiten 644-653. Emerald Group Publishing*
- [6] *M. Petsch, J. Walther, D. Kohlgrüber: Development of a Fully Automated Transport Aircraft Fuselage Modelling and Sizing Tool using Python, DLRK 2017, 5.-7.09.2017, München*
- [7] *M. Siemann, Kohlgrüber, D., Voggenreiter, H.: Numerical simulation of flexible aircraft structures under ditching loads, CEAS Aeronautical Journal, 2017, Volume 8, Issue 3, Pages 505-521. Springer*
- [8] *M. Siemann, D. Schwinn, J. Scherer, D. Kohlgrüber: Advances in Numerical Ditching Simulation of Flexible Aircraft Models, International Journal of Crashworthiness, 2018, Volume 23, Issue 2, Pages 236-251, Taylor & Francis.*

Fragen ?

